

Express Mail Label No. EV 328768913 US  
Date of Deposit July 18, 2003

Bayer 10,253-WCG  
LEA 34173-US

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants : Klemens KOHLGRÜBER, et al  
Serial No. : To be assigned  
Filed : Herewith  
For : MIXER/HEAT EXCHANGER  
Art Unit : To be assigned  
Examiner : To be assigned

---

July 18, 2003

MAIL STOP PATENT APPLICATION  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

SIR:

Transmitted herewith is a certified copy of the following application, the  
foreign priority of which has been claimed under 35 USC 119:

<u>Country</u>	<u>Serial Number</u>	<u>Filing Date</u>
Germany	102 33 506.0	July 24, 2002

It is submitted that this certified copy satisfies all of the requirements of 35 USC 119, and the right of foreign priority should therefore be accorded to the present application.

CONDITIONAL PETITION FOR EXTENSION OF TIME

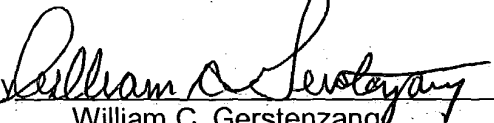
If any extension of time for this response is required, Applicant requests that this be considered a petition therefor. Please charge the required petition fee to Deposit Account No. 14-1263.

ADDITIONAL FEE

Please charge any insufficiency of fees, or credit any excess, to Deposit Account No. 14-1263.

Respectfully submitted,

NORRIS McLAUGHLIN & MARCUS, P.A.


By   
William C. Gerstenzang  
Reg. No. 27,552

WCG:jh

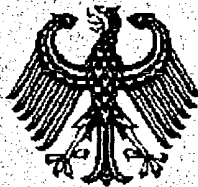
Enclosure: certified copy of  
DE 102 33 506.0

220 East 42<sup>nd</sup> Street - 30<sup>th</sup> Floor  
New York, New York 10017  
(212) 808-0700

I hereby certify that this correspondence is being deposited with sufficient postage with the United States Postal Services as Express Mail, Label No. EV 328768913 US in an envelope addressed to: Mail Stop Patent Application, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on July 18, 2003.

By   
Julie Harting  
Date July 18, 2003

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 33 506.0  
**Anmeldetag:** 24. Juli 2002  
**Anmelder/Inhaber:** Bayer Aktiengesellschaft,  
Leverkusen/DE  
**Bezeichnung:** Mischer/Wärmeaustauscher  
**IPC:** B 01 F, F 28 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. Mai 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident

Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trademark Office.

Wallner

### Mischer/Wärmeaustauscher

Die Erfindung betrifft eine Kombination von statischem Mischer und Wärmeaustauscher zur verfahrenstechnischen Behandlung thermisch empfindlicher viskoser Medien, bestehend aus mehreren parallel neben-, übereinander oder versetzt zueinander angeordneten Rohren, die quer in einem Winkel, vorzugsweise von 90°, zur Produktströmungsrichtung in einem Gehäuse stehen und angeströmt werden. Die Rohre besitzen auf dem äußeren Durchmesser erhabene radial angeordnete Stege oder auch gekrümmte, die axial zur Rohrachse versetzt angeordnet sind und auf der Rohrachse zueinander versetzt sind. Die erhabenen Konturen sind so angeordnet, dass insbesondere bei viskosen und hochviskosen Stoffen und Stoffgemischen eine gute Mischwirkung eintritt und gleichzeitig durch die wesentlich vergrößerte Rohraußenfläche eine schnelle produktschonende Temperierung erst ermöglicht wird.

Das schnelle gleichmäßige und schonende Temperieren von viskosen und hochviskosen Produkten, z.B. Polymerschmelzen, erfolgt nur ungenügend mit den bekannten unten beschriebenen Statikmischersystemen. Als direkte Heizfläche für derartige Aufgabenstellungen steht nur die äußere temperierte Gehäuse- oder Rohrwand zur Verfügung. Zur Temperierung eines Produktes, wird dieses mehrfach durch die bekannten Statikmischer von der Gehäuse- bzw. Rohrmitte zur temperierten Gehäuswand geleitet, so dass mit zunehmender Länge der Heizstrecke die gewünschte Produkttemperatur erreicht wird. Solche Temperieraufgaben erfordern aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit der meisten organischen Stoffe lange temperierte Mischstrecken, die zu einer hohen Verweilzeit und hohem Druckverlust führen und dadurch viskose Stoffe ( $> 1 \text{ mPa.s}$ ) bei laminarer Strömungsgeschwindigkeit, insbesondere solche mit temperaturempfindlichem Charakter, schädigen. Ein zusätzlicher Nachteil der langen Mischstrecken sind die hohen Bauart-bedingten Investitionskosten solcher Systeme. Nachteile, wie die geringe mechanische Stabilität und hohe Druckverluste bekannter Statikmischer führen zu großen Strömungsquerschnitten, die wiederum eine Temperierung erschweren.

Eine geringfügige Verbesserung bei Temperieraufgaben wird erreicht, wenn bekannte Statikmischer in Rohrleitungen oder in Gehäuse eingepresst bzw. eingewalzt werden. Dadurch wird ein begrenzter metallischer Kontakt zwischen der beheizten inneren Gehäusewand und den kleinen äußeren Querschnittsflächen der metallischen Statikmischer gebildet. Der eingezogene oder eingewalzte Statikmischer kann jedoch nur eine unzureichende Kontaktfläche mit der temperierten Gehäusewand bilden. Die Kontaktflächen sind erfahrungsgemäss nicht vollständig ausgebildet, so dass immer Spalte zur inneren Gehäusewand entstehen. Durch diese engen Spalte wird geringfügig, durch höhere Wärmeleiteigenschaften der metallischen Mischstege, Wärme radial in den Strömungsbereich des Statikmischers geleitet. Diese Methode ermöglicht nur bei sehr kleinen Gehäuse- bzw. Rohrdurchmessern eine geringe Verbesserung, da die Wärmeleitung zur Mitte des Statikmischers bzw. des Gehäuses durch die kleinen nicht vollständig ausgebildeten Kontaktflächen begrenzt ist. Weiterhin sind diese Spalte "Totstellen", die zur Stippenbildung, z.B. in Polymer-schmelzen beitragen. Die Stippen (Verunreinigungen) mindern die Qualität der Verkaufsprodukte (z.B. Thermoplaste).

Etwas bessere Temperiereigenschaften besitzen bekannte Statikmischer, die in Gehäuse oder Rohrleitungen eingelötet sind. Das Einlöten erfordert ein präzises vorbereitetes Gehäuse bzw. Rohr und einen an seinem Außendurchmesser bearbeiteten Statikmischer, damit eine gute und vollständige Lötverbindung zustande kommen kann. Die mechanischen Vorbereitungen der einzulötenden Teile sind aufwendig und kostenintensiv. Eingelötete Statikmischer zeigen bei guter Verlötung eine gute Kontaktfläche zur inneren temperierten Gehäusewand. Aufgrund des geometrischen Aufbaus der Statikmischer ist die Kontaktfläche zur beheizten Gehäusefläche jedoch sehr klein, so dass nur eine geringfügig höhere Temperierleistung zum Produktstrom möglich ist. Die Vergrößerung der temperierten Fläche im Vergleich zu den eingewalzten Statikmischem ist nicht wesentlich höher, so dass Mischstecken mit gelöteten Statikmischem, nicht entscheidend verkürzt werden können. Das Lötverfahren ist

wegen der begrenzten Lötöfenbaugröße und wegen des Verzuges der Rohre beim Verlöten nur mit geringer Rohrlänge (i.a.  $< 2$  m) möglich.

5 Durch das eingesetzte Lot, treten zudem häufig zusätzliche Korrosionsprobleme auf die bei der Anwendung solcher Mischer berücksichtigt werden müssen, damit z. B. Reinheit und Qualität eines Produkts durch Verunreinigungen infolge von Korrosion nicht verschlechtert wird.

10 Für die Wärmeübertragung bei flüssigen und gasförmigen Stoffen sind weiterhin Rohre mit äußeren aufgezogenen oder eingepressten bzw. schweißtechnisch angehefteten dünnen Blechscheiben bekannt. Die äußeren dünnen Scheiben besitzen keinen vollständigen Kontakt zum eigentlichen Trägerrohr, so dass sie für den Einsatz zur Temperierung von Luft im hochturbulenten Strömungsbereich vorzugsweise eingesetzt werden. Diese Ausführungen sind nicht druckstabil und besitzen keine  
15 mischenden Eigenschaften für viskose Stoffe im laminaren Strömungsbereich. Deshalb sind derartige Rohrsysteme für die Temperierung viskoser und hochviskoser Flüssigkeiten nicht geeignet. Zur Verbesserung der wärmeübertragenden Eigenschaften werden z.B. diese äußeren Scheiben und das Trägerrohr mit einem Nieder-temperaturlot vollständig überzogen um produktberührte Flächen zu vergrößern und  
20 somit die Wärmeleitung zu erhöhen. Die verwendeten Lote (z.B. Zink, Zinn) sind in chemischen Prozessen mit hohen Korrosionsanforderungen nicht einsetzbar, des weiteren ist die mechanische Festigkeit solcher Lote, insbesondere bei hoher Temperaturbeanspruchung, sehr gering.

25 Weiterhin ist der temperierbare Statikmischer Reaktor (DE 2 839 564 A1) bekannt. Dieser Reaktor vermischt das durchströmende Produkt, wobei die mischenden Einbauten aus mäanderförmig gebogenen Rohren bestehen. Diese Vorrichtung besteht aus einem temperierbaren Gehäuse, in dem die mischenden Einbauten durch ein besonders geformtes Mäander - Rohrbündel ersetzt sind.

Das Rohrleitungsbündel besteht aus mehreren parallel verlaufenden gebogenen dünnen Rohren. Die Enden der Rohre sind an einem Flansch angeschweißt, von dem aus das Heiz- bzw. Kühlmittel zur Temperierung des Produktstroms eingespeist wird.

5 Die parallel verlaufenden gebogenen Rohre werden als temperierte Einbauten parallel zur Strömungsrichtung des Produkts in das Gehäuse eingesteckt. Die mäanderförmigen Rohre stehen unter einem alternierenden Winkel in der Produktströmungsrichtung und verlaufen quer über den hydraulischen Durchmesser des Gehäuses. Die parallel angeordneten Rohre im Bündel kreuzen sich unter-

10 einander in axialer Richtung des Gehäuses, nach dem bekannten Prinzip der Statikmischer. Die mischenden Rohre zeigen bei dieser Konstruktion einen runden bis elliptischen Anströmquerschnitt, die Rohre sind zum Produktstrom unter einem Winkel geneigt, so dass nur eine geringe verteilende Umlenkung bzw. Mischung des zu temperierenden Produktstromes erfolgt. Da angeströmte runde Profile eine

15 geringe Mischwirkung haben, ist eine homogene Temperaturverteilung in einer hochviskosen Produktströmung auf kurzem Weg nicht ausreichend.

Die Länge des einsteckbaren Mäander - Rohrbündels beträgt immer ein Vielfaches des hydraulischen Gehäusedurchmessers. Die mäanderförmig gebogenen Rohre

20 haben aufgrund ihrer gestreckten Länge eine große wärmeübertragende Fläche. Durch den Verbindungsflansch erfolgt die Zu- und Abfuhr des flüssigen Wärmeträgers, der seine Energie über das vom Produkt umströmte Rohrbündel abgibt. Insbesondere bei der Temperierung viskoser Stoffe, die wärmeisolierende Eigenschaften besitzen, kann die große Heizfläche nicht effektiv genutzt werden, da die Einbauten

25 keine gute Mischwirkung haben.

Die gebogenen einsteckbaren Rohrbündel sind anfällig gegen große Druckgradienten. Bei Anfahrvorgängen oder bei Produktverstopfung durch hochviskose Produkte treten hohe Druckgradienten auf, so dass die mäanderförmig gebogenen

30 Heiz-/ Kühllrohre in Produktströmungsrichtung zug- oder druckbelastet und gestreckt werden. Dabei neigen die inneren wärmeübertragenden Einbauten des Apparates

zur Deformation und eine weitere Temperierung des Produkts durch die dann fehlende Umlenkung des Produkts ist nicht mehr möglich. Das ungewollte Strecken des Rohrbündels ist irreparabel und kann zum Anlagenstillstand mit hohen Ausfallkosten führen.

5

Das temperierbare mäanderförmige Rohrbündel zeigt aufgrund der ideal gestreckten Länge des Einzelrohres und des kleinen Strömungsquerschnittes einen hohen Druckverlust und eine lange Verweilzeit auf der Temperierseite. Beides, Druckverlust und Verweilzeit z.B. des Temperiermediums in den Mäanderschlangen, führt zu hohen Differenzen zwischen Ein- und Austrittstemperatur und reduziert die zur Wärmeübertragung wichtige mittlere Temperaturdifferenz entscheidend. Aufgrund dessen ist die Leistungsfähigkeit solcher mäanderförmigen Rohrbündel gering. In der Praxis werden häufig mehrere Rohrbündel hintereinander geschaltet, das erhöht wiederum die Investitionskosten, den Druckverlust, die Verweilzeit des zu temperierenden Stoffes und erhöht den Montageaufwand.

10

15

Ein gleichmäßiges und schonendes Temperieren von hochviskosen, einphasigen oder mehrphasigen Produktströmen bei gleichzeitig geringer Verweilzeit kann mit den bekannten Systemen, wie z.B. Statikmischern mit beheizbaren Gehäusen oder den temperierbaren mäanderförmigen Rohrbündeln nicht erfolgen.

20

Daraus resultiert die Notwendigkeit einen temperierbaren Statikmischer zu entwickeln, der Heizkanäle im Produktstrom und gute Mischeigenschaften besitzt. Die neuen temperierbaren Statikmischer sollen einen geringen Druckverlust auf der Wärmeträgerseite besitzen, so dass mit großen Temperaturdifferenzen zum temperierbaren Produktstrom gerechnet werden kann. Des Weiteren soll das neue Apparatkonzept auf große hydraulische Gehäusedurchmesser anwendbar sein. Zusätzliche Verbesserung in Bezug auf eine hohe Robustheit gegen mechanische Einwirkungen, gegen hohe Druckgradienten und die Möglichkeit diverse wärmeleitende und korrosionsfeste Materialien einzusetzen, um den unterschiedlichen Produkthanforderungen gerecht zu werden, wäre vorteilhaft.

25

30



5 Weitere Anforderungen bestehen bezüglich einer guten Anpassung auf unterschiedliche verfahrenstechnische Aufgabenstellungen hinsichtlich geringem Druckverlust auf der produktberührten und der temperierten Seite, hohe Mischleistung, eines geringen Verweilzeitspektrums auf der Produktseite, große Temperierfläche und hohe Wärmeübertragungsleistung. Die Erfindung soll für den Einsatz von viskosen bis hochviskosen Substanzen (Viskosität 0,001 bis 20 000 Pa.s) wesentliche Vorteile zeigen.

10 Die mechanische Stabilität bei Anfahrvorgängen bzw. bei Montagen soll erhöht werden, so dass auch eine höhere Betriebssicherheit erreicht wird.

15 Der neue Apparat soll ein Kompaktwärmeaustauscher sein, der mit einem niedrigen Installationswand und niedrigen Herstellungskosten in Produktionsanlagen eingebaut werden kann.

20 Aufgabe der Erfindung ist es zusammenfassend einen statischen Mischer/Wärmeaustauscher bereitzustellen, der die Nachteile der bekannten Konstruktionen des Standes der Technik vermeidet, eine wesentlich verbesserte Temperierung bei geringerem Apparatvolumen ermöglicht, die Herstellungskosten des Apparates reduziert und eine höhere Robustheit, Betriebssicherheit und Standzeit als bekannte Wärmeaustauscher aufweist.

25 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Mischer/Wärmeaustauscher gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1.

30 Gegenstand der Erfindung ist ein statischer Mischer/Wärmeaustauscher für die Behandlung viskoser und hochviskoser Produkte, wenigstens umfassend mindestens ein gegebenenfalls temperierbares Gehäuse zur Durchleitung des Produktes, in dem insbesondere quer zur Hauptströmungsrichtung des Produkts mindestens zwei,

bevorzugt hintereinander angeordnete temperierbare Rohre, insbesondere temperierbar mittels Durchleitung eines Wärmeträgermediums, angeordnet sind, wobei auf dem Umfang der Rohre eine Vielzahl von Wärmeaustauscherstegen verteilt angebracht sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeaustauscherstege entlang jedes Rohres in mindestens zwei parallelen Lagen ausgerichtet sind und die Stege der verschiedenen Lagen um einen Winkel  $\alpha$  von  $45^\circ$  bis  $135^\circ$ , bevorzugt von  $70^\circ$  bis  $100^\circ$ , besonders bevorzugt von  $85^\circ$  bis  $95^\circ$  zueinander um die Achse des Rohres verdreht angeordnet sind und dass die Stege der verschiedenen Lagen zur Hauptströmungsrichtung des Produktes durch das Gehäuse unter einem Winkel  $\beta$  von  $\pm 10^\circ$  bis  $\pm 80^\circ$  stehen.

Die Stege der verschiedenen Lagen stehen in einer bevorzugten Ausführung zur Hauptströmungsrichtung des Produktes durch das Gehäuse unter einem Winkel  $\beta$  von  $\pm 30^\circ$  bis  $\pm 60^\circ$  und besonders bevorzugt unter einem Winkel  $\beta$  von  $\pm 40^\circ$  bis  $\pm 50^\circ$ .

Bevorzugt ist ein Mischer/Wärmeaustauscher, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Steg einer Lage ein zu diesem Steg auf dem Rohr gegenüberstehender Steg angeordnet ist. Im einfachsten Fall stehen sich beide Stege dann auf dem Rohr genau in einem Winkel von  $180^\circ$  gegenüber.

Bevorzugt ist auch ein Mischer/Wärmeaustauscher, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege der verschiedenen Lagen von Stegen über die Länge des Rohres gesehen alternierend angeordnet sind. Damit wird die Mischwirkung weiter verbessert.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Stege so ausgebildet, dass die Stege der verschiedenen Steglagen entlang der Rohre zueinander auf Lücke angeordnet sind.

Zur Verarbeitung höher viskoser Produkte sind, in einer alternativen Bauform des Mischer/Wärmeaustauschers, die Abstände der Stege der verschiedenen Lagen entlang des Rohres zu einander auf Lücke um den Druckverlust zu erniedrigen.

- 5 Zur Verarbeitung höher viskoser Produkte sind, in einer alternativen Bauform des Mischer/Wärmeaustauschers, die Abstände der Stege der verschiedenen Lagen entlang des Rohres so gewählt, dass die Lücke zwischen rohraxialen benachbarten Stegen größer ist als die jeweilige Stegbreite.

- 10 Die Lücken vergrößern den Produktströmungsquerschnitt und reduzieren den Druckverlust. Sind die Lücken kleiner als die jeweilige axiale Stegbreite erhöht sich der Druckverlust und gleichzeitig auch die wärmeübertragende Fläche der Rohre.

- 15 In einer besonderen Ausführungsform ist das Stegbreite-/Lückenverhältnis zwischen zwei Stegen zwei benachbarter Steglagen kleiner 1, bevorzugt kleiner 0,7 und besonders bevorzugt kleiner 0,5, um den Druckverlust zu reduzieren.

- 20 Bevorzugt ist ebenfalls ein Mischer/Wärmeaustauscher, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Rohre mit Stegen in dem Gehäuse quer zur Hauptströmungsrichtung nebeneinander angebracht sind.

- 25 Unter Hauptströmungsrichtung des Produktes wird die Richtung parallel zur Längsausdehnung des Gehäuses bezeichnet, die dem Produktstrom folgt, bei rohrförmigem Gehäuse die Richtung parallel zur Mittelachse des Gehäuses.

- 30 In einer bevorzugten Form des Mischer/Wärmeaustauschers besitzen die Rohre Temperierkanäle für die Durchleitung eines flüssigen Wärmeträgers, wobei im Ausströmbereich jedes Kanals eine Düse mit einem gegenüber dem Kanal verkleinerten hydraulischen Durchmesser, zur Begrenzung der Durchflussmenge des Temperiermittels, angebracht ist.

Bevorzugt ist der Durchmesser der Düse nur halb so groß wie der hydraulische Kanaldurchmesser des jeweiligen Rohres.

5 Die bevorzugte integrierte Düse am Ende des Temperierkanals, im Ausströmbereich der Rohre, reduziert die Durchflussmenge des flüssigen Temperiermediums bei vollständig geflutetem Kanal. Dadurch erhöht sich die gleichmäßige Durchströmung vieler parallel angeordneter Stegrohre des Mischer/Wärmeaustauschers.

10 In einer besonders bevorzugten Form des Mischer/Wärmeaustauschers weist das Gehäuse des Mischer-/Wärmeaustauschers einen separaten zuleitenden und einen separaten ableitenden Gehäusebereich für das Wärmeträgermedium auf, um die Einström- bzw. Ausströmbereiche der Temperierkanäle zu versorgen. Dabei erfolgt eine erzwungene Durchströmung der Stegrohre.

15 Der temperierbare Mischer/Wärmeaustauscher kann einen kreisrunden (hydraulischen) oder einen rechtwinkligen Querschnitt zeigen, so dass die Querschnittsform des Moduls der verfahrenstechnischen Notwendigkeit angepasst werden kann. Der Mischer hat eine Bauhöhe von Länge zu Durchmesser  $L/D < 10$ , vorzugsweise bei größeren Durchmessern ist das  $L/D$ -Verhältnis  $< 5$  und besonders bevorzugt ist das  $L/D$ -Verhältnis  $< 1$ .

20 Eine bevorzugte Variante des Mischer/Wärmeaustauschers ist dadurch gekennzeichnet, dass in dem Gehäuse in mehreren Ebenen hintereinander (in Hauptströmungsrichtung) mit Stegen versehene Rohre, insbesondere mit verschiedenen Stegformen-  
25 bzw. -ausführungsvarianten versehene Rohre, angebracht sind. Diese mehrstufige Ausführung ermöglicht einerseits ein örtlich intensiveres Vermischen des Mischgutes andererseits wird durch die unterschiedliche Heizfläche der hintereinander in Produktströmungsrichtung stehenden Rohre ein Temperaturgradient entlang der Mischstrecke ermöglicht.

30

Durch Wahl der Abstände „a“ (vergleiche Fig. 13) der horizontalen Rohre können die äußeren Stege zueinander definierte Spalte bilden. Durch Variation der vertikalen Rohrabstände „h“ können sich Spalte zwischen den einzelnen Mischebenen bilden, so dass eine Druckverlustminderung eintritt und eine gute schweißtechnische Verbindung der in Segmenten ausgebildeter Mischelemente mit dem Gehäuse möglich ist.

Zur weiteren Intensivierung der Mischwirkung und Temperierung ist ein bevorzugter Mischer/Wärmeaustauscher so aufgebaut, dass sich die radiale Ausdehnung der auf benachbarten Rohren angeordneten, jeweils benachbarten Wärmeaustauscherstege überschneidet.

Die Variation der Rohrabstände quer zur Produktströmungsrichtung oder die Variation der Abstände in Produktströmungsrichtung ermöglicht eine Verbesserung der Misch- und Temperiervorgänge bei gleichzeitig geringerem Apparatvolumen (Hold-up). Beim Durchströmen des Mischer/Wärmeaustauschers erfolgt bei enger Anordnung ein Ineinandergreifen der Temperierstege, der nebeneinander oder hintereinander angeordneten Rohre. Das erhöht die Strömungsgeschwindigkeit und in Folge die Temperier- und Mischleistung.

Bevorzugt ist weiterhin ein Mischer/Wärmeaustauscher, dadurch gekennzeichnet, dass die radiale Ausdehnung der Stege mindestens das 0,5-fache bis zum 30-fachen, bevorzugt mindestens das 5-fache bis zum 15-fachen des Innendurchmessers des damit verbundenen Rohres beträgt.

Bevorzugt ist weiterhin ein Mischer/Wärmeaustauscher, dadurch gekennzeichnet, dass die radialen Stege auf den Rohren hohl sind und der Steghohlraum eine direkte Verbindung zum Rohrrinnenraum hat.

In besonderen Ausführungen sind die Leitflächen der Stege erhaben strukturiert, so dass die wärmeaustauschende Fläche weiter vergrößert wird und zusätzliche Misch-

bzw. Strömungseffekte insbesondere bei Durchleitung von niederviskosen Stoffen auftreten.

5 Die radiale Ausdehnung der Stege und die dadurch vergrößerte wirksame Wärme-  
austauschfläche bei gleichzeitiger Verminderung des lokalen Druckverlustes kann  
aufgrund der Wärmeleiteigenschaften des verwendeten Rohrwerkstoffes und der  
stoffspezifischen Wärmeübergangskoeffizienten des zu temperierenden Produkts  
nicht beliebig groß gewählt werden. Eine große radiale Ausdehnung der Stege kann  
10 erfolgen, wenn die Stege hohl ausgebildet sind und der Steghohlraum eine direkte  
Verbindung zum Kanal des Rohres hat. Ist prozessseitig eine hohe Dispergierleistung  
gefordert kann die radiale Ausdehnung der Stege groß gewählt werden, so dass sich  
die Stege in verschiedenen Ebenen überschneiden bzw. Stege benachbarter Rohre  
ineinander greifen. Die Rohre mit hohlen Stegen können gießtechnisch einstückig  
hergestellt werden. Aufgrund moderner Schweißverfahren (Laser-Schweißung) ist  
15 auch eine Schweißkonstruktion wirtschaftlich.

Ebenfalls bevorzugt ist eine Variante des Mischer/Wärmeaustauschers, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Innenwand der Rohre eine Konturierung zur Vergrößerung  
ihrer Oberfläche aufweist, insbesondere in Form von Längsrippen. In Analogie zum  
20 Innenraum des Temperierrohres sind bevorzugt die äußeren Flächen der Temperier-  
rohre und insbesondere die Stege mit Konturen versehen, um die produktseitige  
Wärmeübertragungsfläche zu vergrößern.

Alternativ ist der Mischer/Wärmeaustauscher bevorzugt so gestaltet, dass die Rohre  
25 mit einer elektrischen Widerstandsheizung versehen sind.

Kommt der Mischer/Wärmeaustauscher als Erhitzer mit in die Rohre eingesteckten  
elektrischen Heizpatronen zum Einsatz, entfallen die separat ausgebildeten zuleiten-  
den und ableitenden Leitungen für Temperiermittel, so dass die Rohre die mit dem  
30 umschließenden Gehäuse direkt verbunden sind, einseitig mit den Heizpatronen  
bestückt werden können.

5 Bei Verwendung flüssiger Temperiermittel liegt der Temperaturbereich des Mischer/Wärmeaustauschers von  $-50^{\circ}\text{C}$  bis  $+300^{\circ}\text{C}$ . Oberhalb von  $300^{\circ}\text{C}$  kann der Mischer/Wärmeaustauscher mit elektrischen Heizpatronen bis zu  $500^{\circ}\text{C}$  betrieben werden.

10 Für die Durchführung katalysierter Prozesse ist eine weitere bevorzugte Bauform des Mischer/Wärmeaustauschers von Vorteil, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Rohre und/oder die Stege auf ihrer von Mischgut berührten Fläche mit einem Katalysator beschichtet sind.

15 Bevorzugt sind die Stegrohre des Mischer/Wärmeaustauscher einstückig ausgebildet, z.B. dadurch, dass die Rohre mit Stegen im Gießverfahren oder als Schmiedestück gefertigt sind.

20 Die Fertigung der Rohre mit Stegen bzw. der Stegrohre durch Gieß- oder Umformtechnik hat Kostenvorteile. Insbesondere wird durch das homogene Werkstoffgefüge eine gute Wärmeleitung vom durchfließenden Temperiermittel zur produktberührten Außenfläche gesichert und Kältebrücken vermieden. Aus diesem Grunde sind insbesondere metallische, legierte CrNi-Werkstoffe, Cu-Verbindungen, Aluminium, Titan, hochlegierte Nickelstähle bzw. Edelmetalle als Werkstoffe bevorzugt.

25 Die Mischwirkung und Wärmeaustauscherfunktion sind besonders wirksam in einem bevorzugten Mischer/Wärmeaustauscher, bei dem die Stegrohre in Querrichtung zur Hauptströmungsrichtung des Produktes unter einem Winkel  $\gamma$  von höchstens  $+/- 15$  Grad in dem Gehäuse angeordnet sind.

30 Bei besonderen Mischaufgaben ist ein bevorzugter Mischer/Wärmeaustauscher vorteilhaft, bei dem in dem Gehäuse in mehreren Ebenen in Strömungsrichtung hintereinander mit Stegen versehene Rohre angebracht sind, und die Rohre der Ebenen

unterschiedlich dimensionierte Stege im Vergleich zu den Stegen der Rohre benachbarter Ebenen aufweisen.

5 Bevorzugt ist ein Mischer/Wärmeaustauscher, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens hintereinander angeordnet zwei parallele Scharen von Rohren mit Stegen unterschiedliche Stegformen besitzen.

10 Besonders bevorzugt ist ein Mischer/Wärmeaustauscher aufgebaut, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Rohr mit Stegen in einer Ebene einseitig mit einer Rohrverlängerung durch den zuleitenden oder ableitenden Temperierbereich nach außerhalb des Gehäuses geführt ist und der Kanal des Stegrohres an einer Seite verschlossen ist und mindestens zwei radiale Öffnungen eine Verbindung vom Kanal des Stegrohres zum durchströmten Produktraum des Mischer/Wärmeaustauschers bildet, um eine zusätzliche flüssige oder gasförmige Komponente in den Hauptstrom  
15 des Mischgutes zu leiten und unmittelbar zu vermischen.

20 Die direkte Einspeisung einer zusätzlichen Substanz über ein nach außen verlängertes Stegrohr, ermöglicht die Verwendung des Mischer/Wärmeaustauschers als Reaktor. Zum einen kann ein Farbstoff bzw. ein Additiv oder ein Schleppmittel zudosiert werden um z.B. viskose Produkte zu färben, Beimischungen zu realisieren oder Reinigungsmittel zu zuführen für eine nachgeschaltete Reinigungsstufe. Eine andere verfahrenstechnische Verwendung wird möglich, wenn z.B. eine Reaktionskomponente über den Strömungsquerschnitt des Mischer/Wärmeaustauschers in den Hauptstrom zu dosiert und dadurch eine chemische Reaktion eingeleitet bzw. gestartet  
25 wird. Eine ggf. entstehende Reaktionswärme, durch den Start einer exothermen Reaktion, kann unmittelbar abgeführt werden, um den Prozess isotherm zu halten.

30 In besonderen Ausführungen des Mischer/Wärmeaustauschers werden Rohre mit äußeren Stegen oder Leitflächen übereinander in ein U-förmiges Gehäuse angeordnet und beide U-förmigen Gehäuseschalen zu einem dichten Gehäuse verschweißt, so



dass sich ein rechtwinkliger Strömungsquerschnitt für das zu temperierende Produkt bildet (Figur 2, 2a).

5 Eine weitere anwenderfreundliche Ausführung des Mischer/Wärmeaustauscher besteht darin, wenn temperierende Stegrohren jeweils in separate Heitzaschen, für die Zuführung und Ableitung des Temperiermediums, eingesetzt, verschweißt und einseitig mit einem Flansch versehen werden, um als steckbare Temperiereinheiten in ein angepasstes Gehäuse eingesetzt zu werden.

10 Die übereinander positionierten Stegrohre mit den einseitigen Verteilertaschen können als Steckeinheiten in temperierte Gehäuse geschoben werden. In einer derartigen Anordnung befindet sich auf kleinem Raum besonders viel Heizfläche, so dass eine produktschonende Temperierung bei kurzer Verweilzeit erfolgt. Ein besonderer Vorteil für den Anwender ist die Reinigungsmöglichkeit der temperierbaren  
15 Mischereinheit.

Bevorzugt können mehrere Mischer/Wärmeaustauscher hintereinander angeordnet werden, gegebenenfalls in Kombination mit bekannten statischen Mixern. Die Mischer/Wärmeaustauscher können dabei um einen Winkel  $\delta$  von 45 bis 135°, z.B.  
20 von 90°, um die Gehäusemittelachse verdreht zueinander angeordnet sein.

Durch das Hintereinander-Schalten von mehreren Mischer/Wärmeaustauschern kann eine chemische Reaktion in einem statisch-mischenden Reaktor ausreichend homogenisiert und isotherm gehalten werden.

25 Der Mischer/Wärmeaustauscher ist ein leistungsfähiger Temperierapparat, der selbst bei laminarer Strömungsgeschwindigkeit eine hohe Wärmeübertragungsleistung ermöglicht. Aus diesem Grund sind die erfindungsgemäßen Mischer/Wärmeaustauscher bevorzugt für den Aufbau von rückvermischungsarmen Strömungsreaktoren, für die Durchführung von exothermen und endothermen Prozessen geeignet. Je  
30 nach Aufgabenstellung kann in prozess-intensiven Reaktorbereichen, in denen eine

Reaktion gestartet wird, ein schneller Wärmeaustausch gewünscht ist und nach Verweilzeitbereichen die weniger temperaturregulierend wirken und nur ein Vermischen gefordert ist unterschieden werden. Verweilzeitbereiche von Strömungsreaktoren können z.B. temperierte Rohre mit eingesetzten bekannten Statikmischern sein.

5

Die Hauptanwendung der Erfindung, liegt auf dem Gebiet der schonenden schnellen Temperierung von viskosen bis hochviskosen Stoffsystemen. Bei diesen Anwendungen ist neben einer effektiven Temperierung immer eine gleichzeitig gute und effektive Vermischung erforderlich um Temperaturkonstanz über den Strömungsquerschnitt zu erzielen.

10

Durch die Möglichkeit einen weiteren Stoff über die zusätzliche bevorzugte Stoffzuleitung direkt in den Hauptstrom einzuleiten und zu verteilen, können Additive bzw. Farbstoffe eingemischt werden, so dass in einer verfahrenstechnischen Anlage zusätzliche Mischstrecken entfallen können. Insbesondere bei Verfahren zur Entmonomerisierung von Polymerschmelzen können sogenannte Schleppmittel direkt in die Schmelze eindosiert werden, gleichzeitig erfolgt durch die effektive Temperierung eine schonende Kurzzeit-Erhitzung des Polymers, auf ein höheres Temperaturniveau, ohne eine thermische Produktschädigung einzuleiten, so dass ein nachgeschalteter Verdampfungsschritt als Reinigungsschritt, von z.B. einer leichter siedenden unerwünschten Komponente, durchgeführt werden kann.

15

20

Mehrere hintereinander geschaltete Mischer/Wärmeaustauscher können dazu benutzt werden um rückvermischungsarme Rohrreaktoren zu konzipieren. Es kann z.B. eine Reaktionskomponente über die zusätzliche Stoffzuleitung eines bevorzugten Mischer/Wärmeaustauschers gleichmäßig in den Reaktionsraum (Produktraum) verteilt werden. Bei endothermen Reaktionen kann im Strömungsverlauf die zur Reaktion benötigte Energie unmittelbar zugeführt werden. Entsteht während der Reaktion Wärme, so kann bei Zuschaltung eines Kältemittels die Reaktionswärme unmittelbar abgeführt werden.

25

30

5 Mit der genannten Erfindung lassen sich kleine, kompakte Hochleistungs- Wärme-  
austauscher für niederviskose und hochviskose, flüssige und gasförmige Stoffe bil-  
den. Die Apparate zeigen eine sehr stabile Ausführung, können aufgrund der stabilen  
Ausführung bei hohen Druckgradienten eingesetzt werden, besitzen eine große wär-  
meübertragende Fläche und arbeiten rückvermischungsarm. Insbesondere bei An-  
wendungen zur Temperierung viskoser und hochviskoser einphasiger oder mehr-  
phasiger Stoffsysteme sind aufgrund kleiner Verweilzeiten die Vorteile besonders er-  
kennbar.

10 Das Strömungsverhalten von sehr hochviskosen Stoffsystemen impliziert einen sehr  
hohen Druckverlust, weshalb nur kleine Strömungsgeschwindigkeiten wirtschaftlich  
möglich sind. Der Fachmann spricht von schleichenden Strömungen. Hierbei ist der  
Wärmeaustausch zwischen Wärmeträger und Produkt besonders schlecht. Bei diesen  
15 Anwendung ist neben der großen wärmeaustauschenden Fläche gleichzeitig ein  
intensiver Mischvorgang notwendig um eine schonende und gleichmäßige Erwär-  
mung des Produkts zu erzielen. Die Temperierung des Produkts erfolgt bei entspre-  
chender Anordnung der Stegrohre bei sehr kleiner Verweilzeit und kleinem Verweil-  
zeitspektrum, so dass insbesondere temperaturempfindliche Stoffe mit dem erfin-  
dungsgemäßen Mischer/Wärmeaustauscher temperiert werden können.

20

Mit der Erfindung kann in einzelnen Fällen sogar auf eine vollständig temperiertes  
Gehäuse verzichtet werden, wodurch u. a. Investitionskosten weiter reduziert werden.

25 Aufgrund der hohen konzeptionellen Flexibilität der erfindungsgemäßen Mischer/-  
Wärmeaustauscher, durch Kombination der Rohrabstände „a“ und „h“ mit unter-  
schiedlichen Stegbereichen, Variation der Anzahl der Stegrohre nebeneinander,  
untereinander oder versetzt untereinander, sowie der Variation der Rohrabstände quer  
oder mit der Hauptströmungsrichtung des Produkts, besteht die Möglichkeit allen  
verfahrenstechnischen und produktspezifischen Anforderungen gerecht zu werden.

30

Der Apparat arbeitet immer mit kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Ein- und Austritt des Wärmeträgers bzw. des Kühlmittels, so dass ein hoher Leistungsübertrag beim Temperieren und eine sehr gute Nutzung der Sekundärenergien möglich ist.

5 Die Erfindung ermöglicht kompakte, druckfeste und preiswerte Wärmeübertragungsapparate bzw. rückvermischungsarme Rohrreaktoren. Die Form von einsteckbaren Mischer/Wärmeaustauscher-Einheiten in entsprechende temperierte Gehäuse ergibt besonders betriebsfreundliche Apparate, die eine einfache Reinigung zu lassen.

10 Insbesondere die Anwendung als rückvermischungsarmer Rohrreaktor, mit einer integrierten Einheit zur gleichmäßigen Einspeisung einer Reaktionskomponente über den hydraulischen Strömungsquerschnitt eines primären Hauptproduktstroms bietet weitere technische Einsatzmöglichkeiten, die bisher mit Aggregaten nach dem Stand der Technik nicht möglich sind.

15

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren durch die Beispiele, welche jedoch keine Beschränkung der Erfindung darstellen, näher erläutert.

Es zeigen:

20

Figur 1 einen Längsschnitt durch das Gehäuse 6 eines erfindungsgemäßen Mischer/Wärmeaustauschers gemäß Linie A-A in Figur 1a und den Winkelversatz der Stege zu einander sowie die Winkelannordnung der Stege zur Hauptströmungsrichtung.

25

Figur 1a Teil-Querschnitt und seitliche Ansicht des Rohres 1 mit Stegen 2a und 2b nach Figur 1.

30

Figur 2 zeigt einen Mischer/Wärmeaustauscher mit zwei parallel angeordneten Rohren 1 in einer Ebene mit Stegen 2a und 2a' im Bereich der

Produktströmung, sowie den Winkelbereich  $\alpha$  der Stege 2a und 2b und den Winkelbereich  $\beta$  der Stege zur Hauptströmungsrichtung.

- 5      Figur 2a      zeigt den Mischer/Wärmeaustauscher gemäss der Linie B-B aus Figur 2 mit einer zuführenden Wärmeträgerkammer 4 und einer abführenden Wärmeträgerkammer 5 und den Winkelbereich  $\gamma$  für die Schrägstellung der Stegrohre im Bereich der Produktströmung.
- 10      Figur 3, 3a      eine Variante zu einem Stegpaar 2a aus Figur 1 im Querschnitt.
- Figur 4, 4a      eine weitere Variante zu einem Stegpaar 2a aus Figur 1.
- 15      Figur 5, 5a      eine weitere Variante zu einem strömungsoptimierten Stegpaar 2a aus Figur 1.
- Figur 6, 6a      eine Variante zu einem Stegpaar 2a aus Figur 1 mit nur einem Steg 62° und exzentrischem Heizkanal 3.
- 20      Figur 7, 7a      eine Variante zu einem Stegpaar 2a aus Figur 1.
- Figur 8, 8a      eine weitere Variante zu einem Stegpaar 2a aus Figur 1.
- Figur 9, 9a      eine weitere Variante zu einem Stegpaar 2a aus Figur 1.
- 25      Figur 10      einen Längsschnitt gemäss Linie D-D aus Figur 12, durch eine rechteckige Mischer/Wärmeaustauscher-Einheit mit drei nebeneinander liegenden Rohren 1, 1', 1'' in einer Ebene und einer um das Gehäuse verlängerten Wärmeträgerzuleitungskammer 4.
- 30      Figur 11      einen Querschnitt durch eine Mischer/Wärmetauschereinheit, gemäss der Linie C-C aus Figur 10 und integrierter Düse bzw. Blende 3' im Austrittsbereich des Heizkanals 3.

- Figur 12 eine Draufsicht auf eine Mischer/Wärmetauschereinheit nach Figur 10 mit Anschlüssen für die Wärmeträgerzuführung 4 und -ableitung 5.
- 5 Figur 13 einen Längsschnitt durch eine Mischer/Wärmetauschereinheit mit drei in Produkt-Hauptströmungsrichtung hintereinander angeordneten Reihen von nebeneinander liegenden Rohren mit unterschiedlich dimensionierten Stegen und mit verschiedenen Rohr-Mittenabständen „a“ bzw. „h“ sowie definierten Spalten zur Gehäusewandung und zwischen den einzelnen Rohrebenen für die Reduzierung von Toträumen.
- 10
- Figur 14 zeigt einen Querschnitt auf ein Mischer/Wärmetauscher-Einheit mit getrenntem konzentrischen Wärmezuleitungs- 4 und Wärmeableitungsbereich 5, desweiteren ist durch den Wärmezuleitungsbereich 4 eine zuführende Kapillare 13 gezeigt, als einseitige Verlängerung des Temperierkanal, um eine zusätzliche Substanz über Verteilerbohrungen 14, in den Produkthauptstrom verteilt einleiten zu können.
- 15
- Figur 14a zeigt eine Schnittdarstellung entlang der Linie A-A aus Figur 14, insbesondere sind die Verteilerbohrungen 14 zur gleichmäßigen Verteilung einer zugeführten Substanz in den Produkthauptstrom.
- 20
- Figur 15 zeigt eine modular aufgebauten Mischer/Wärmetauscher-Reaktor mit einer Stoff-Einleitung über Kapillare 13 und Verteilung über Bohrungen 14 für die Zuführung einer Reaktionskomponente, wobei die Anordnung vier hintereinander geschaltete Mischer/Wärmetauschereinheiten (9, 10, 11, 12) mit unterschiedlichen L/D-Verhältnissen hat und die Mischer/Wärmetauscher-Einheiten um 90 Grad verdreht zueinander angeordnet sind.
- 25
- 30


## Beispiele

### Beispiel 1

- 5      Figur 1 zeigt ein einstückiges Rohr 1 in einem produktdurchströmten Gehäuse 6, welches auf dem äußeren Umfang einen Stegbereich hat und zwei unter einem Winkel  $\beta = 45$  bzw.  $-135^\circ$  zur Hauptströmungsrichtung (Pfeil) stehende radiale Mischstege 2a, 2a' in einen vorderen, im Schnitt dargestellten und einem hinteren Stegbereich mit zwei weiteren Stegen 2b, 2b' besitzt. Die Breite des Stegbereichs ist
- 10      hier so gewählt, dass alternierend zwei Steglagen mit jeweils zwei Stegen 2a, 2a' und 2b, 2b' entlang der Rohrachse radial versetzt zueinander im Gehäuse 6 angeordnet sind, und sie sich in ihrer axialen Ausdehnung lückenlos anschließen (siehe Figur 1a).
- 15      Die Form bzw. Ausgestaltung der Stege und die Stegoberflächenbeschaffenheit kann unterschiedlich sein. Die Oberfläche der Stege und des Rohres kann z.B. strukturiert sein durch erhobene Noppen, Warzen bzw. Rillen oder Nuten, um die wärmeübertragende Fläche zu vergrößern und zusätzliche Strömungseffekte zu produzieren. Im Wesentlichen richtet sie sich nach der verfahrenstechnischen Aufgabe oder Anforderung. In den Figuren 3 bis 9 sind Beispiele hierzu wiedergegeben. Die Stege
- 20      können am äußeren Umfang des Rohres 1 radial symmetrisch (wie in Fig. 3-5) oder auch asymmetrisch (Fig. 7-9) angeordnet sein und zueinander unterschiedliche Winkel zeigen, wobei auch unterschiedliche Stegformen miteinander kombiniert werden können und Fig. 7-9 miteinander korrespondieren. Die Stegform kann von
- 25      der radialen einfachen Form abweichen dahingehend, dass sie zusätzlich eine gekrümmte Form als Leitschaufel zeigen, das ist besonders vorteilhaft wenn sich die konzentrischen Bereiche überschneiden und Sekundärströmungen erzwungen werden.


Figur 3, 3a zeigen einen Querschnitt bzw. Längsschnitt durch ein Rohr 1 ähnlich Fig. 1 mit zwei Stegen 32a, 32a' die einen konstanten Durchmesser aufweisen und eine Abflachung 31 quer zur Hauptströmungsrichtung 21 an ihren Enden haben.

5 In der Variante nach Fig. 4, 4a sind die Stege 42a, 42a' im Querschnitt am Ende verjüngt ausgebildet. Die Stege 52a, 52a' nach Variante gemäß Fig. 5, 5a sind ähnlich der Fig. 4, jedoch mit verbreiterten Fuß entsprechend dem Durchmesser des Rohres 1 ausgeführt.

 10 Fig. 6 zeigt eine Variante eines Stegrohres 1 ähnlich der nach Fig. 5, jedoch mit nur einem Steg 62' in einer Steglage. Die Bauform nach Fig. 7 kombiniert Stegformen nach Fig. 4 und Fig. 5 hier mit unterschiedlicher radialer Ausdehnung der Stege 72, 72'. In der Ausführung nach Fig. 8, die Fig. 7 ähnlich ist, sind beide Stege 82, 82' im Querschnitt und einem Winkel von 170°C um die Rohrachse verdreht zueinander angeordnet.

15

In der Variante nach Fig. 9 beträgt der Winkelversatz 90°C, zwischen den Stegen 92 und 92' verglichen mit der Anordnung nach Fig. 7.

 20 Durch die Form und Anordnung der Stege kann die wärmeübertragende Fläche auf der produktberührten Seite und auch das Umströmen des Rohres und damit auch der wichtige Mischvorgang begünstigt werden. Insbesondere bei Temperiervorgängen von hochviskosen Medien, mit einer Viskosität von größer 1 Pa.s, ist eine definierte Anordnung der Stege auf dem äußeren Umfang des Rohres sinnvoll, um neben der

25 Wärmeübertragung auch eine effektive Mischwirkung zu erzielen. Zur Erhöhung der Heizleistung kann die innere Kontur der Stegrohre 1, die in Kontakt mit dem Temperiermittel steht, ebenfalls mit Rippen ausgestattet werden. Dadurch wird die Heizfläche auf der Wärme- oder Kälteträgerseite wesentlich erhöht.

30 Die Rohrform mit beliebig vielen bzw. gezielt angeordneten Stegbereichen auf dem äußeren Rohrdurchmesser kann wirtschaftlich im Gießverfahren oder in einem



Schmiedeverfahren hergestellt werden, dadurch wird immer sichergestellt, dass ein vollständiger metallischer Kontakt zwischen Rohr und erhabene äußere Kontur besteht. In besonderen Fällen können die radialen Stege hohl ausgeführt sein, so dass der Steghohlraum eine direkte Verbindung zum Temperierraum hat und überall konstante Wanddicken vorliegen. Anforderungen bezüglich mechanischer Festigkeiten und benötigter Druckfestigkeit erfolgt durch entsprechende Wahl der Wanddicke.

Die Rohre können aus unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt werden, damit eine ausreichend hohe Korrosionsbeständigkeit gewährleistet ist.

Das Gießverfahren lässt eine wirtschaftliche Fertigung von nur einer bestimmten Rohrlänge zu. Größere Rohrlängen müssen durch Verbinden mehrerer Rohreinheiten mit einem geeigneten Schweißverfahren hergestellt werden.

### Beispiel 2

Ein weiterer Mischer/Wärmeaustauscher ist in Figur 2 im Längsschnitt wiedergegeben. Sechs Rohre 1 haben zwei parallele Lagen von Stegen 2a und 2b mit jeweils auf dem äußeren Umfang der Rohre zwei radial versetzten Stegen 2a, 2a'. Die Rohre 1 ragen mit einem Ende in eine Wärmeträger-Zuführkammer 4 und enden in einer Wärmeträger-Ableitkammer 5 (Figur 2a). Die Rohre 1 sind mit der Zuführ- 4 und der Ableitkammer 5 verschweißt. Die Rohre 1 stehen in einem Winkel  $\gamma$  von ca. 5 Grad quer zur Hauptströmungsrichtung 21 des Produktes. Die Rohre 1 mit den Stegen sind so positioniert, dass die Stege in einen Winkel  $\beta$  von 45 Grad zur Produktanströmung 21 positioniert sind. Die Stege 2a stehen zu den versetzten Stegen 2b in einem Winkel  $\alpha$  von 90 Grad.

Die Zuführkammer 4 und Ableitkammer 5 des Temperiermittels bestehen aus einer am Gehäuse 6 angeschweißten Tasche bzw. einem Halbrohr (nicht gezeichnet).

**Beispiel 3**

In Figur 10 ist eine Mischer/Wärmeaustauschereinheit gezeigt, mit einem rechteckigen Gehäuse 6 und drei Stegrohren 1, 1', 1''. Die Stege 12a, 12b entsprechen in ihrer Bauform den in Fig. 3 gezeigten Typen und sind über die Länge der Rohre 1, 1', 1'' in alternierenden Lage angeordnet.

Im Querschnitt in Fig. 11 gemäß Linie C-C aus Fig. 10 ist zu sehen, dass durch eine äußere Ummantelung 15 zwei Kammern 4, 5 gebildet werden, die mit einer Zuleitung 16 bzw. einer Ableitung 17 für einen flüssigen Wärmeträger verbunden sind (siehe Fig. 12). Die Rohre 1, 1', 1'' werden wie in Fig. 11 gezeigt im Betrieb vom Wärmeträger 18 durchströmt. An ihrem einen Ende weisen die Rohre 1, 1', 1'' eine Verengung 3' im Kanal 3 auf.

Der Mischer/Wärmeaustauscher (vergleiche Schnittbild in Fig. 12) hat einen durch das Gehäuse 6 gebildeten rechteckigen Produktströmungsbereich. Das weitere das Gehäuse 6 umgebende Gehäuse 15, das mit Trennstegen unterteilt ist, bildet die Kammern 4, 5 für den Wärmeträger 18. Mehrere gemäß Fig. 10 geformte Mischer/Wärmeaustauschereinheiten sind in Strömungsrichtung hintereinander angeordnet und an eine Produktleitung bündig angeschlossen. Das Produkt durchströmt die Einheiten entsprechend Fig. 10 von oben (Strömungsrichtung 21).

Eine weitere Möglichkeit der Zu- und Ableitung der Temperierflüssigkeit besteht darin, dass um das Wärmeaustauschergehäuse mit innenliegenden Stegrohren ein Ring bzw. Mantelrohr, welches wiederum zwei Trennstege besitzt um eine Trennung zwischen Vor- und Rücklauf des Wärmeträgers zu gewährleisten (vergleiche Figur 14), gestülpt und verschweißt wird. Bei einer runden Wärmeträgerkammer und Gehäuse sind die temperierbaren Rohre 1 mit ihren Stegen in der Anströmebene des Produkts unterschiedlich lang.

Die Stegform und -richtung kann im Zusammenspiel mit den horizontalen Rohrabständen „a“ oder den vertikalen Rohrabständen „h“ untereinander eine optimale temperierbare Mischer/Wärmeaustauschergeometrie bilden, mit großer Wärmeübertragungsfläche und hoher Mischwirkung. Die Rohre mit den äußeren Stegen können unterschiedliche Rohrabstände zeigen, sie können so eng gewählt werden, dass die konzentrischen Stegbereiche sich überlappen und die äußeren Mischstege sich miteinander kreuzen (vergl. Figur 13). Dadurch kann die wärmeübertragende Fläche pro Volumeneinheit variiert und die Verweilzeit des Produkts verkleinert werden. Die Rohre in einer Ebene können unterschiedliche Stegformen und -anordnungen zeigen.

#### Beispiel 4

Fig. 13 zeigt eine Mischer Wärmeaustauscheranordnung ähnlich der in Fig. 10 gezeigten Form jedoch mit zwei weiteren Reihen von Stegrohren 131, 132, die in Produktströmungsrichtung 21 hintereinander angeordnet sind.

Die erste Reihe von Stegrohren 1, 1', 1'' mit Stegen 12 a, 12b entspricht der in Fig. 10 gezeigten Form.

In den weiteren Reihen sind die Rohre 131, 132 mit den äußeren Stegen so angeordnet, dass die jeweils endständigen Stege zum Gehäuse 6 einen definierten Spalt zeigen, um ein möglichst vollständiges Umfließen der Stegrohre insbesondere zur Gehäusewand 6 zu ermöglichen (Figur 13, Ebene 2 u. 3). Dieser Spalt verhindert die Bildung von Toträumen in Strömungsrichtung, in denen sich Produkte ablagern können welches zur Qualitätsminderung der Produkte aufgrund langer Temperaturbelastung führt. Gleichzeitig erfolgt eine zusätzliche Temperierung durch die gezielte Führung des Produktes zum temperierten Gehäuse.

**Beispiel 5**

Die temperierbaren Mischer/Wärmeaustauscher können gemäß der Variante nach Fig. 14 dazu benutzt werden, um eine einzumischende Komponente gleichmäßig im Produkt zu verteilen. Bei dieser Anwendung werden in dem mittleren Rohr 13 im Bereich der Stege 2a, 2b kleine Eintrittsöffnungen 14 eingebracht, die es ermöglichen eine einzumischende Komponente über eine Rohrverlängerung (13) durch den Heizmittelraum zu zuführen und über die eingebrachten Öffnungen 14 über den gesamten Produktströmungsquerschnitt gleichmäßig einzutragen (Figur 14, 14a).

10 Eine Kombination mehrerer Mischer/Wärmeaustauscher 9, 9a, 9b, 9c zu einem Strömungsreaktor ist in Figur 15 skizzenhaft im Schnitt gezeigt. Die Einheit 9a hat hier ein L/D-Verhältnis von 1,5 während die übrigen Einheiten des Reaktors ein L/D-Verhältnis von 0,75 haben. Die Einheiten sind zueinander um 90 Grad versetzt angeordnet. Die zuleitenden Wärmeträgerkammern 4 und ableitenden Wärmeträgerkammern 5 der Mischer/Wärmeaustauscher-Einheiten sind alle parallel mit der Wärmeträgerversorgung verbunden. Die Temperierrohre 1 mit Stegen sind in den Einheiten 9, 9b durch unterbrochene Linien und in den Einheiten 9a, 9c durch die Kreuzungspunkte der unterbrochenen Linien angedeutet. Es ist zu erkennen, dass die Einheiten in der horizontalen und in der vertikalen Ebene bzw. in Hauptstromrichtung 21 unterschiedlich viele Stegrohre zur Temperierung besitzen, um im jeweiligen Modul eine differenzierte Temperier- und Dispergierleistung zu bewirken. In der Einheit 9 ist das mittlere Rohr nur einseitig geöffnet (ähnlich der Ausführung in Figur 14a) und durch eine Kapillare 13 einseitig durch die Temperierkammer 4 verlängert bis außerhalb der Mischer/Wärmeaustauscher-Einheit 9. Außerhalb der Einheit 9 kann nun eine Dosierpumpe, die in der Figur 15 nicht dargestellt ist, angeschlossen werden, um z.B. eine weitere Substanz (Additiv, Schleppmittel, Reaktionsstoffe) über den gesamten Strömungsquerschnitt des Modul bzw. der Einheit zu dosieren und zu verteilen. Bohrungen bzw. Düsen 14 entlang des Rohres im Produktstrom sorgen für eine gleichmäßige Verteilung über den Strömungsquerschnitt der Einheit.

Je nach Volumenstrom des Wärmeträgermediums (z.B. Warmwasser, Öl, Kühlsole) ist es erforderlich im Austrittsbereich der Stegrohre eine Querschnittsverengung bzw. eine Düse (Blende) vor zu sehen, damit parallel angeströmte Stegrohre mit gleicher Energiedichte versorgt werden. In einfachster Ausführung wird der Innendurchmesser 3 des Rohres im Austrittsbereich zur ableitenden Wärmeträgerkammer auf kurzer Strecke verkleinert, z.B. auf den Innendurchmesser 3', ähnlich wie in Figur 11 dargestellt ist. Wird Dampf als Energieträger eingesetzt ist diese Verengung des Innendurchmessers 3 des Rohres 1 nicht erforderlich.

#### **Beispiel 6** Kompaktwärmeaustauscher

Kompaktwärmeaustauscher haben die Aufgabe in kurzer Zeit ein durchströmendes Medium möglichst hoch, d.h. möglichst nahe an die Heizmitteltemperatur zu erhitzen, so dass aufgrund einer kurzzeitigen Temperaturbelastung keine thermische Schädigung des Produkts auftritt. Kompaktwärmeaustauscher sollen kleinere Abmessungen haben, als bekannte Wärmeaustauscher mit gleicher Leistung, damit in einer verfahrenstechnischen Anlage nur ein kleiner Raumbedarf und dadurch geringe Montage- und Investitionskosten entstehen. Ein wesentliches Merkmal zum Vergleich verschiedener Wärmeaustauschertypen ist die Wärmeübertragungsleistung, die benötigte Wärmeaustauschfläche und das produktseitige Apparatvolumen. Es wurde der erfindungsgemäße Mischer/Wärmeaustauscher mit einem Gerät aus dem Stand der Technik (Offenlegungsschrift DE-2 839 564 A1) verglichen. Der untersuchte erfindungsgemäße Mischer/Wärmeaustauscher entsprach grundsätzlich der in Figur 2 und 2a gezeigten Ausführung jedoch mit vier statt zwei quer zur Produktströmungsrichtung nebeneinander angeordneten Rohren und insgesamt neun statt drei in Strömungsrichtung 21 gesehen hintereinander angeordneten Rohrpaketen (vergleiche Figur 2a).

Für den Versuch wurde als Produkt ein hochviskoser Stoff (Silikonöl) mit einer Viskosität von 10 Pa.s gewählt und mit einer Zahnradpumpe durch die Wärmeaustauscher gepumpt, so dass im Austrittsbereich des jeweiligen Apparates der Massenstrom gravimetrisch ermittelt werden konnte. Die Wärmeaustauscher wurden für den Versuch an einen elektrisch beheizten und geregelten Thermostaten (Heizleistung 3 kW) angeschlossen. Als Wärmeträgermedium wurde Wasser gewählt, so dass der Thermostatregler für die Vorlauftemperatur am Thermostaten auf 90°C eingestellt wurde. Die Eintritts- und Austrittstemperatur des Wärmeträgers und der Produktseite wurden mittels Pt-100 gemessen und auf einer Messwerterfassungsanlage registriert und gespeichert. Zusätzlich registrierten Drucksensoren, die im Eintritts- und Austrittsbereich der Temperier- und Produktseite auftretenden Drücke, als Folge der auftretenden Strömungsverluste. Die apparativen Kenndaten der Wärmeaustauscher sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

**Tabelle 1:**

<b>Apparatedaten</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>Mischer/Wärmeaustauscher</b>
Werkstoff	1.4571	1.4571
Hydraulischer Querschnitt	38 x 38 mm	40 x 43 mm
Apparatelänge	310 mm	158 mm
Stegbreite	Rohr 4 x 1 mm	5 mm
Stegbereiche pro Rohr / Stege pro Bereich	8 Rohr parallel	8 / 2
Rohrdurchmesser / Innendurchmesser	Rohr 4 x 1 mm	7 mm / 5 mm
Düsen-Drchm. im Austrittsbereich	-----	2,5 mm
Temperierfläche der Einbauten	0,09 qm	0,068 qm
Temperierfläche des zu- u. ableitenden Bereichs (Gehäuseanteil)	0,00 qm	0,012 qm

Die Apparatedaten zeigen konstruktiv bedingte Abweichungen. Aus der Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass der Mischer/Wärmeaustauscher eine kürzere Bauform und dadurch ein geringeres produktseitiges Volumen (Hold-up) hat. Zusätzlich hat der Mischer/Wärmeaustauscher eine um 0,01 qm geringere wirksame Wärmeüber-

tragungsfläche. Bauartbedingt ist beim Mischer/Wärmeaustauscher immer ein Teilbereich des Gehäuses temperiert. Für die Versuchsauswertung ist die wirksame Gesamttemperierfläche eingesetzt worden. Aus den durchgeführten Versuchen, den gemessenen Temperaturen und Drücken, wurden die charakteristischen Kenndaten errechnet und in der Tabelle 2 für beide Wärmeaustauscher gegenüber gestellt. Es wurde die übertragene Wärmeleistung, der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient und der Druckverlust aus den aufgezeichneten Messwerten berechnet worden.

In der Tabelle 2 sind die errechneten Leistungsdaten der Wärmeaustauscher für einen konstanten Volumenstrom (Silikonöl) von ca. 30 l/h dargestellt.

**Tabelle 2**

	<b>Stand d. Technik</b>	<b>Mischer/ Wärmeaustauscher</b>
Wärmeübertragungsleistung	400 W	520 W
Produkteintrittstemperatur	22,6°C	22,5°C
Produktaustrittstemperatur	55,2°C	67,3°C
Mittlere Wärmedurchgangskoeffizient	98 W/qm/K	160 W/qm/K
Druckverlust (Produktseite)	1,5 bar	1 bar

Das Ergebnis der Versuche bestätigt die höhere Leistungsfähigkeit des erfindungsgemäßen kompakten Mischer/Wärmeaustauschers. Es wurde bei konstantem Volumenstrom und geringerer Verweilzeit ca. 120 Watt mehr übertragen, obwohl die produktberührte Wärmeübertragungsfläche geringer ist als bei dem bekannten Wärmeaustauscher. Aufgrund der kompakten Bauform des Mischer/Wärmeaustauschers konnte die Verweilzeit halbiert werden.

Das Testergebnis bestätigt eine wesentliche Verbesserung der Wärmeübertragungsleistung bei geringerer Verweilzeit durch den erfindungsgemäßen Mischer/Wärmeaustauscher.

**Patentansprüche**

1. Statischer Mischer/Wärmeaustauscher für die Behandlung viskoser und hochviskoser Produkte wenigstens umfassend ein Gehäuse (6) zur Durchleitung des Produktes, mindestens zwei temperierbare Rohre (1), die insbesondere mit einem Kanal (3) zur Durchleitung eines Wärmeträgermediums versehen sind, wobei das Gehäuse die Rohre (1) umgibt, wobei auf dem Umfang der Rohre (1) eine Vielzahl von Wärmeaustauscherstegen (2a, 2b) verteilt angebracht sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmeaustauscherstege (2a, 2b) entlang der Rohre (1) in mindestens zwei parallelen Lagen (7, 8) ausgerichtet sind und die Stege (2a) und (2b) der verschiedenen Lagen (7, 8) um einen Winkel  $\alpha$  von  $45^\circ$  bis  $135^\circ$ , bevorzugt von  $70^\circ$  bis  $110^\circ$  zueinander um die Achse der Rohre (1) verdreht angeordnet sind und dass die Stege (2a, 2b) zur Hauptströmungsrichtung (21) des Produktes durch das Gehäuse (6) unter einem Winkel  $\beta$  von  $+10^\circ$  bis  $+80^\circ$  stehen.
2. Mischer/Wärmeaustauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem Steg (2a) bzw. (2b) einer Lage (7) bzw. (8) ein zu diesem Steg auf dem Rohr (1) gegenüberstehender Steg (2a') bzw. (2b') angeordnet ist.
3. Mischer/Wärmeaustauscher nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege (2a) oder (2b) der verschiedenen Lagen (7) oder (8) über die Länge des Rohres (1) gesehen alternierend angeordnet sind.
4. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel  $\alpha$  zwischen den Stegen der verschiedenen Lagen (7, 8) von  $85^\circ$  bis  $95^\circ$  beträgt.
5. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Rohre (1, 1') mit Stegen (2a, 2b) in dem Ge-



häuse (6) quer zur Hauptströmungsrichtung des Produktes nebeneinander angebracht sind.

5 6. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (6) Zuleitungen (4) und Ableitungen (5) für ein Wärmeträgermedium aufweist, welche mit dem Eingang bzw. Ausgang der Kanäle (3, 3') verbunden sind.

10 7. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Gehäuse (6) in mehreren Ebenen hintereinander mit Stegen (2a, 2b) versehene Rohre (1, 1') angebracht sind.

15 8. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich die radiale Ausdehnung der auf benachbarten Rohren (132, 132') angeordneten, jeweils benachbarten Stege (2a, 2b) überschneidet.

20 9. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Stege (2a, 2b) der verschiedenen Lagen (7, 8) entlang der Rohre (1, 1', 1'') zu einander auf Lücke angeordnet sind.

25 10. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die radiale Ausdehnung der Stege (2a, 2b) mindestens das 0,5-fache des Innendurchmessers des damit verbundenen Rohres (1) beträgt.

30 11. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwand der Rohre (1, 1', 1'') eine Konturierung zur Vergrößerung ihrer Oberfläche aufweisen, insbesondere in Form von Längsrippen.

12. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ausgewählte Stege (2, 2a', 2b, 2b') der Rohre (1) innen

hohl ausgeführt sind und der Hohlraum mit dem Kanal (3) des Rohres (1) in Verbindung steht.

- 5 13. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohre (1, 1', 1'') mit einer Widerstandsheizung oder einem elektrischen Kühlelement versehen sind.
- 10 14. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohre (1, 1', 1'') und/oder die Stege (2a, 2b) mit einem Katalysator beschichtet sind.
- 15 15. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohre (1, 1', 1'') in Querrichtung zur Hauptströmungsrichtung des Produktes unter einem Winkel  $\gamma$  von höchstens  $\pm 15^\circ$  in dem Gehäuse (6) angeordnet sind.
- 20 16. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Gehäuse (6) in mehreren Ebenen hintereinander mit Stegen (2a, 2b) versehene Rohre (1, 1a) angebracht sind, und die Rohre (1) der Ebenen unterschiedlich dimensionierte Stege (2a, 2b) im Vergleich zu den Stegen der Rohre (1a) der benachbarten Ebene aufweisen.
- 25 17. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischer/Wärmetauscher mindestens ein parallel zu den Rohren (1) angeordnetes Stoffeinleitungsrohr aufweist, das mit gleichartigen Stegen (2a, 2b) versehen ist und mehrere Öffnungen (14) zum Inneren des Gehäuses (6) aufweist.
- 30 18. Mischer/Wärmeaustauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohre (1) Kanäle (3) aufweisen, in deren Ausström-

bereich eine Düse (3') mit gegenüber den Kanälen (3) verkleinertem Durchmesser angebracht ist.

- 5      19.      Verwendung der Mischer/Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 17 zur Temperierung von viskosen Stoffsystemen mit einer Viskosität von 0,001 bis 20 000 Pa.s.

**Mischer/Wärmeaustauscher**

**Z u s a m m e n f a s s u n g**

Es wird eine Kombination von statischem Mischer und Wärmetauscher zur verfahrenstechnischen Behandlung empfindlicher viskoser Medien beschrieben.

Der Mischer weist Wärmetauscherrohre (1) auf, die auf ihrem Umfang mit Stegen (2a, 2b) versehen sind, die eine statische Mischwirkung ausüben.

(Fig. 1)

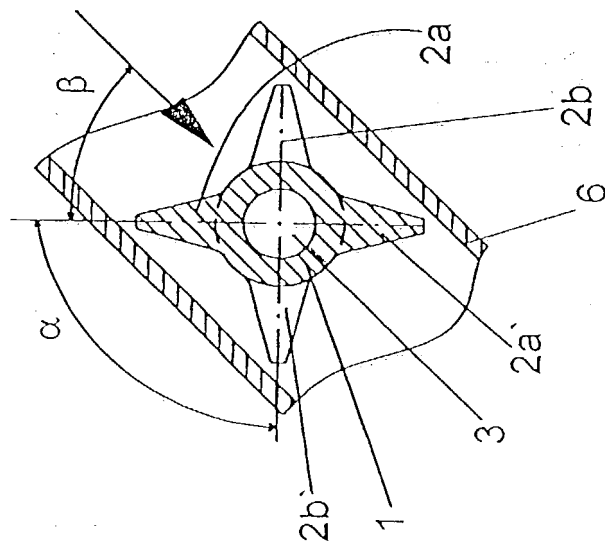


Fig. 1

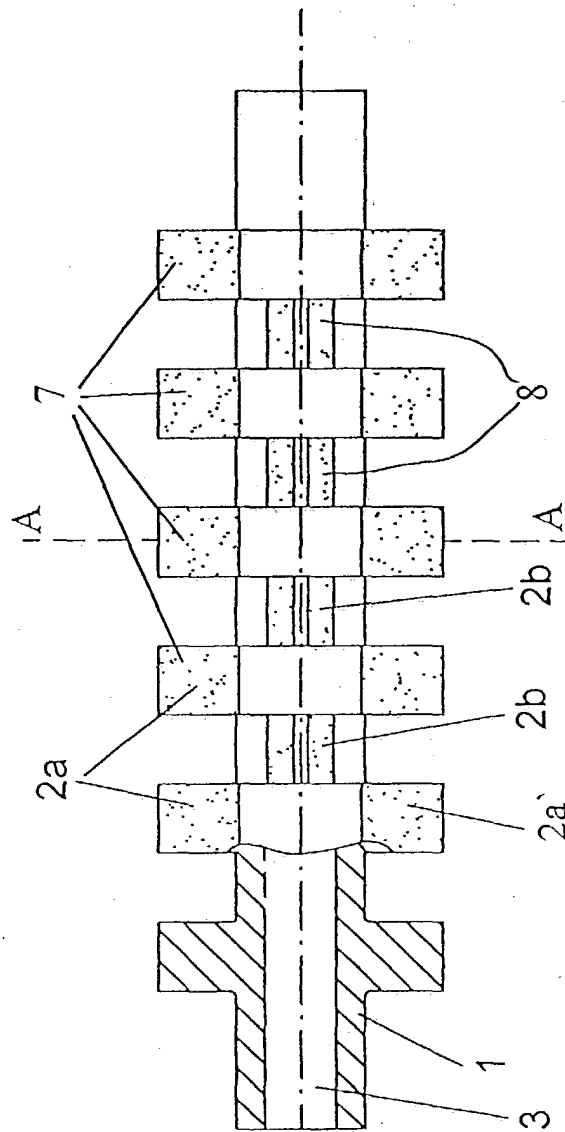


Fig. 1a

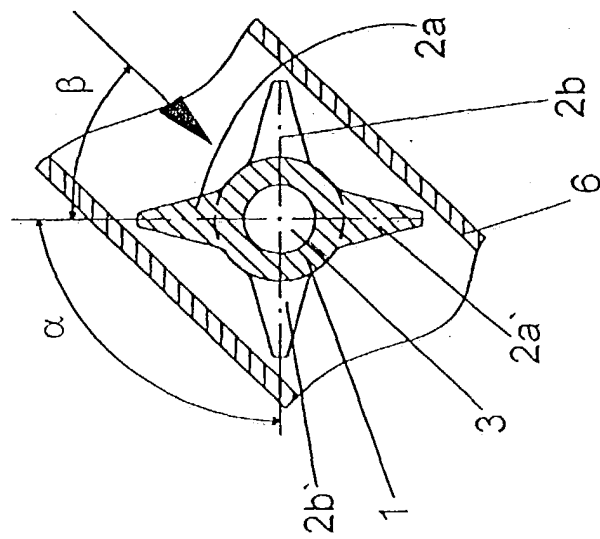


Fig. 1

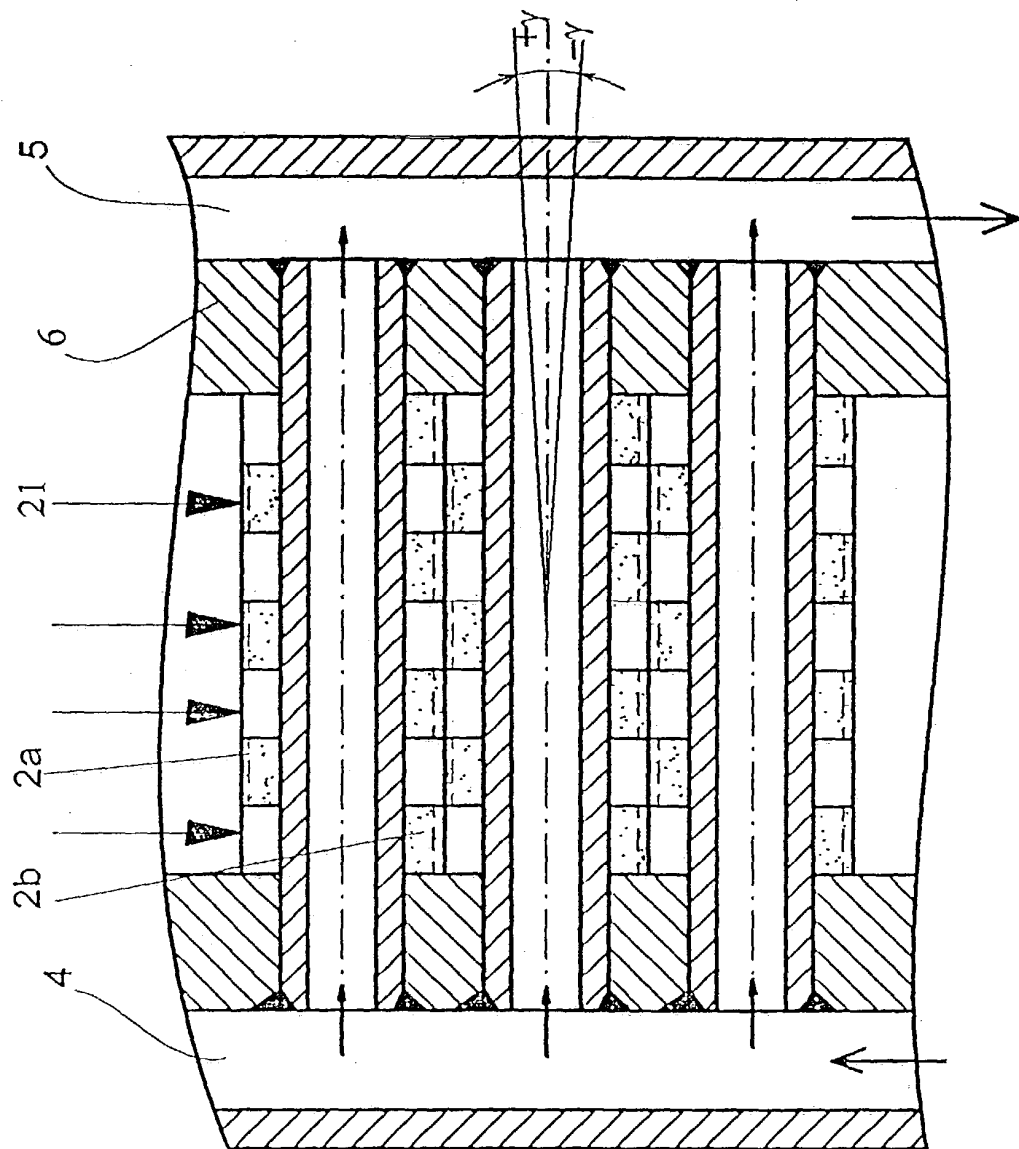


Fig. 2a

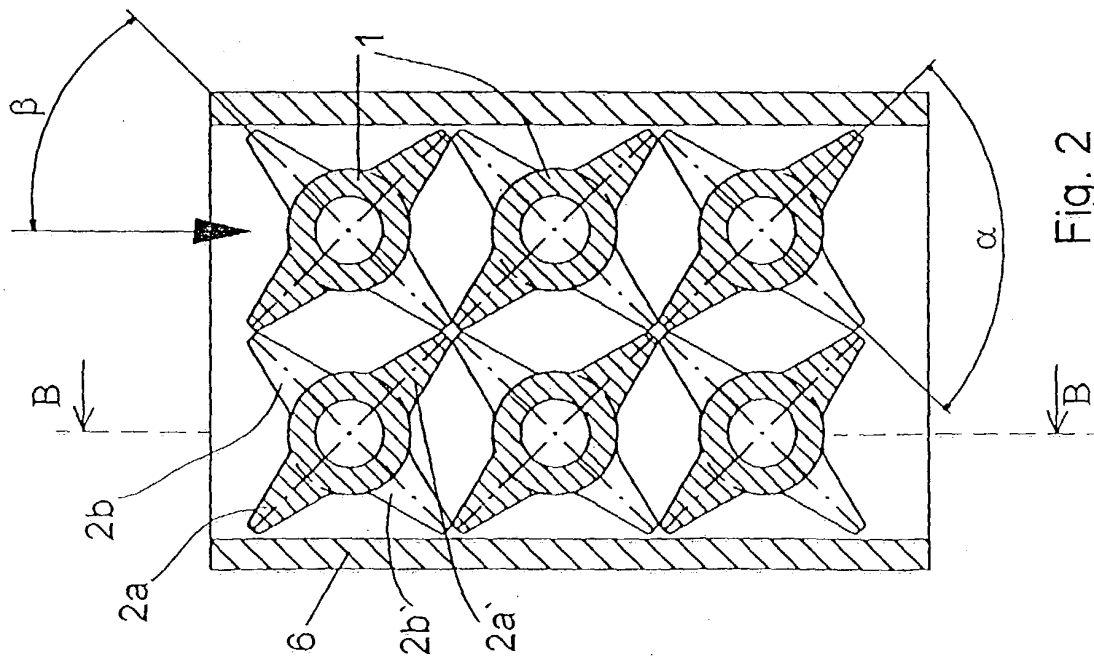


Fig. 2

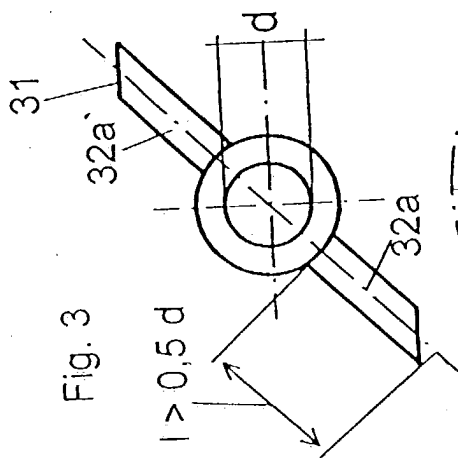


Fig. 3

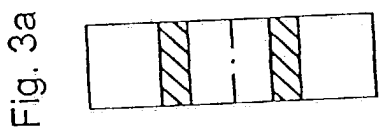


Fig. 3a

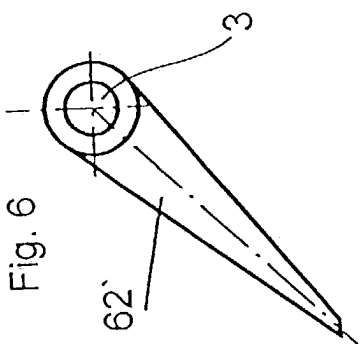


Fig. 6

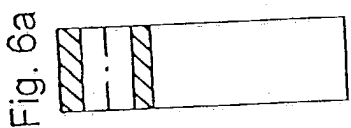


Fig. 6a

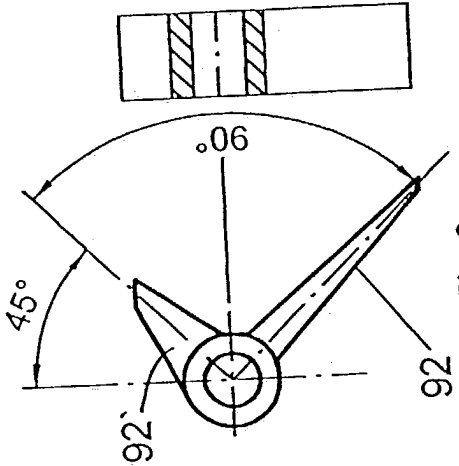


Fig. 9

Fig. 9a

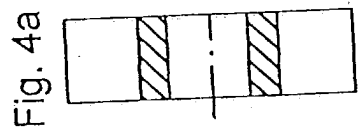


Fig. 4a

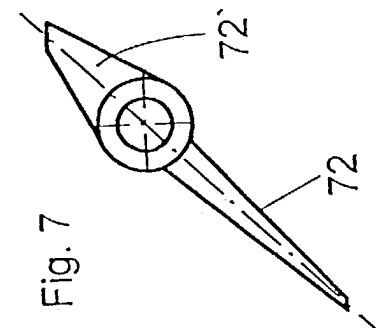


Fig. 7

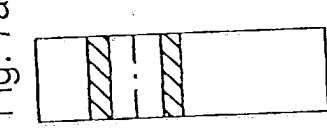


Fig. 7a

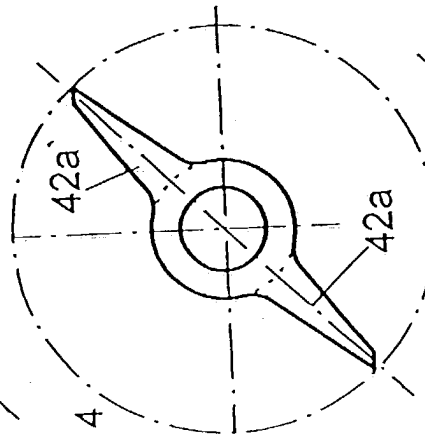


Fig. 4

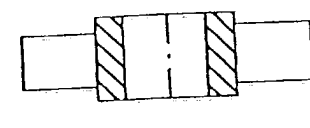


Fig. 5a

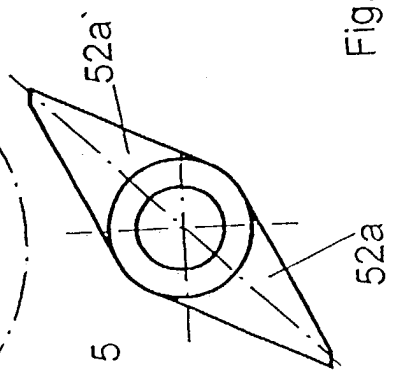


Fig. 5

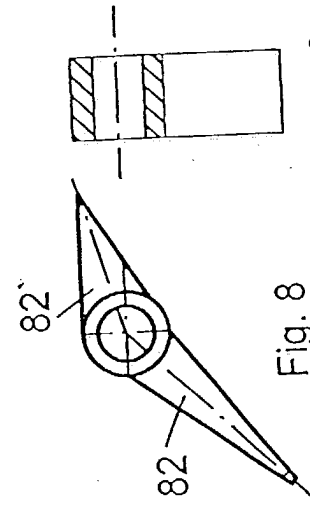


Fig. 8

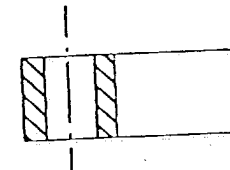
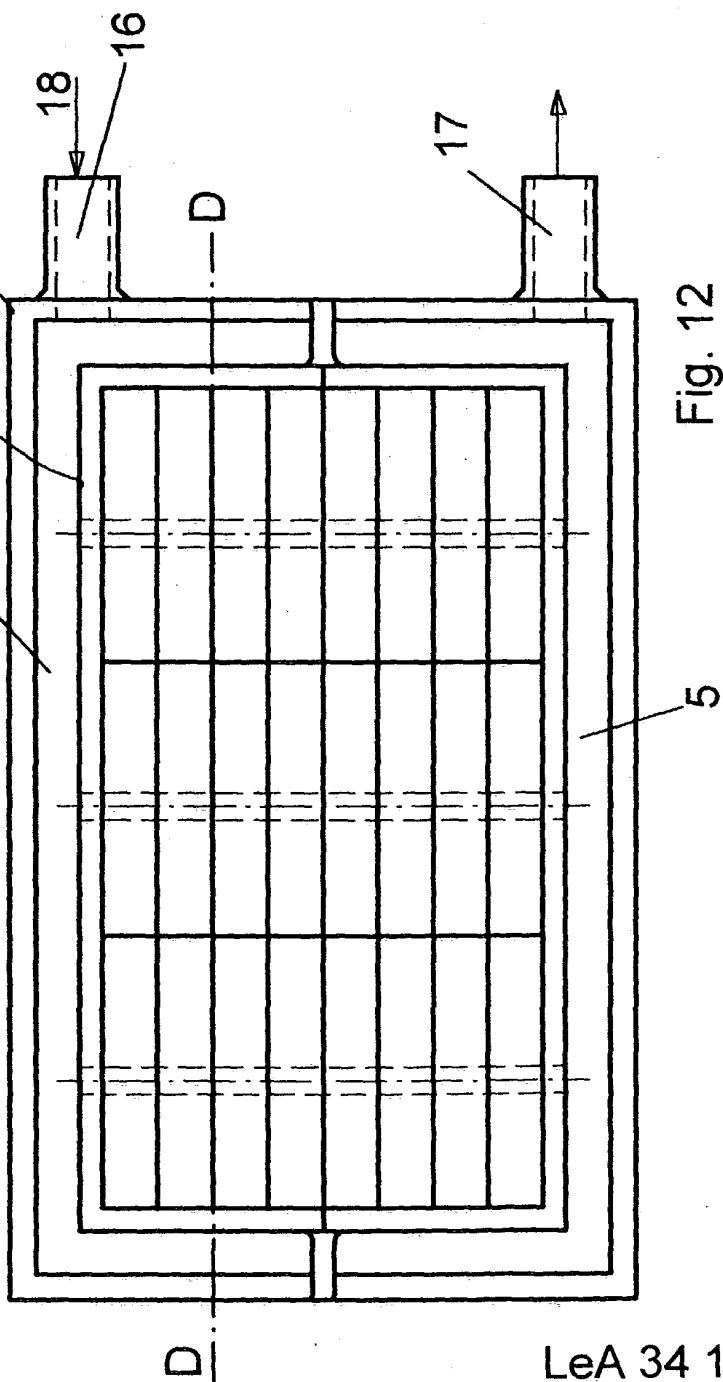
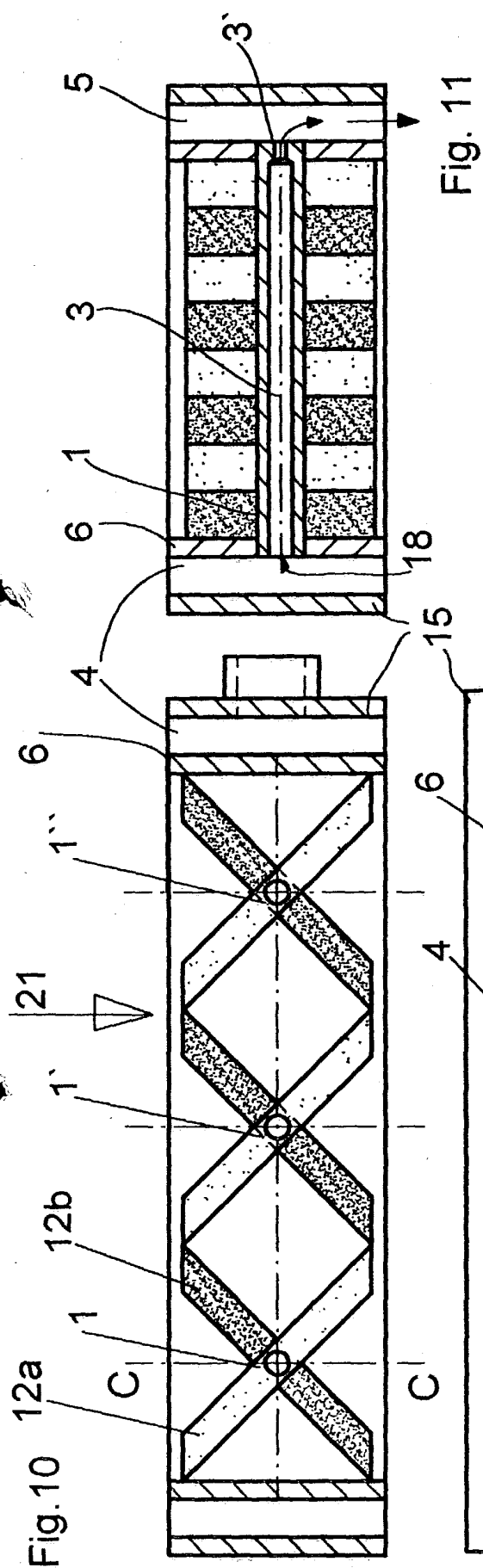


Fig. 8a





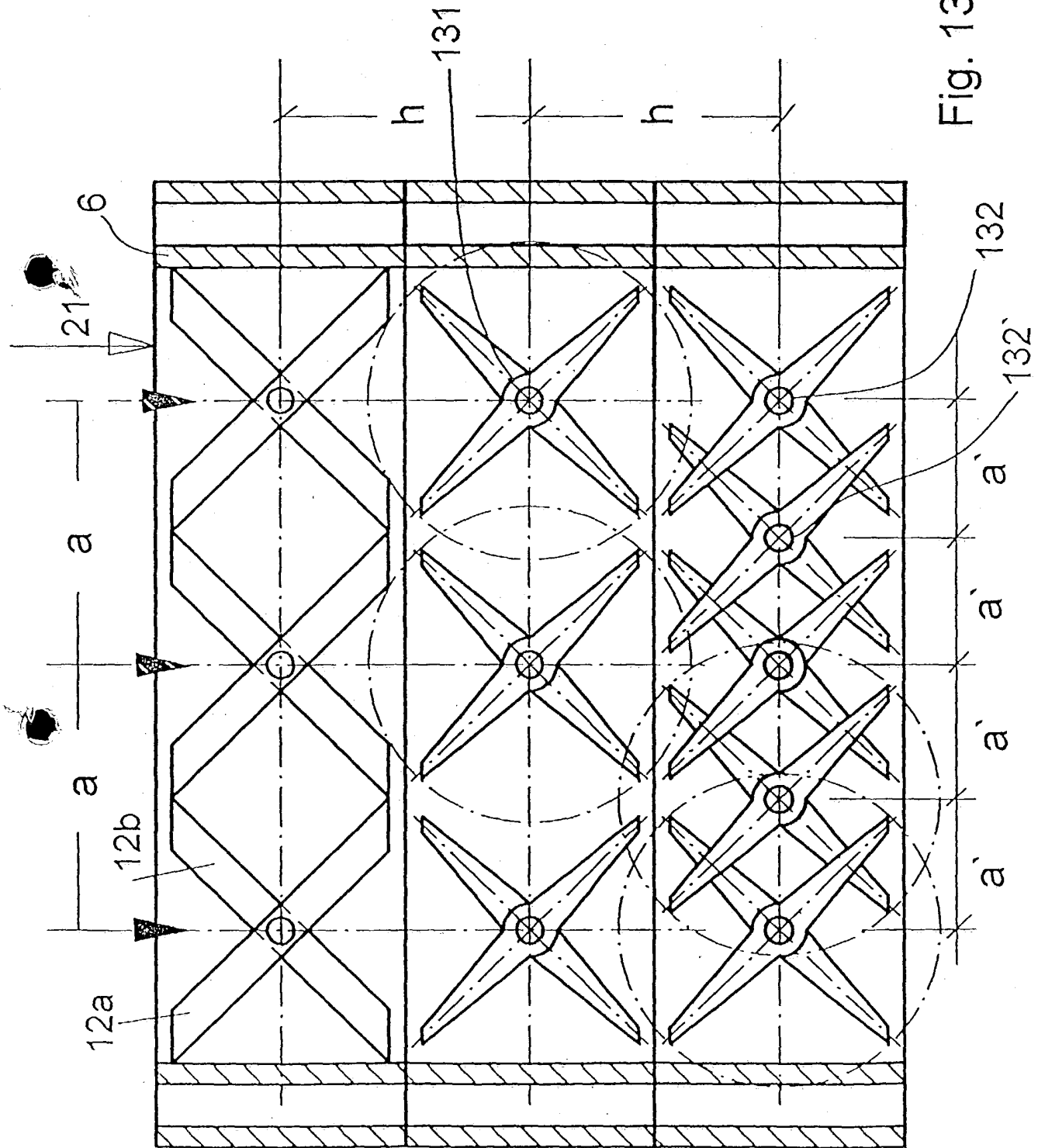
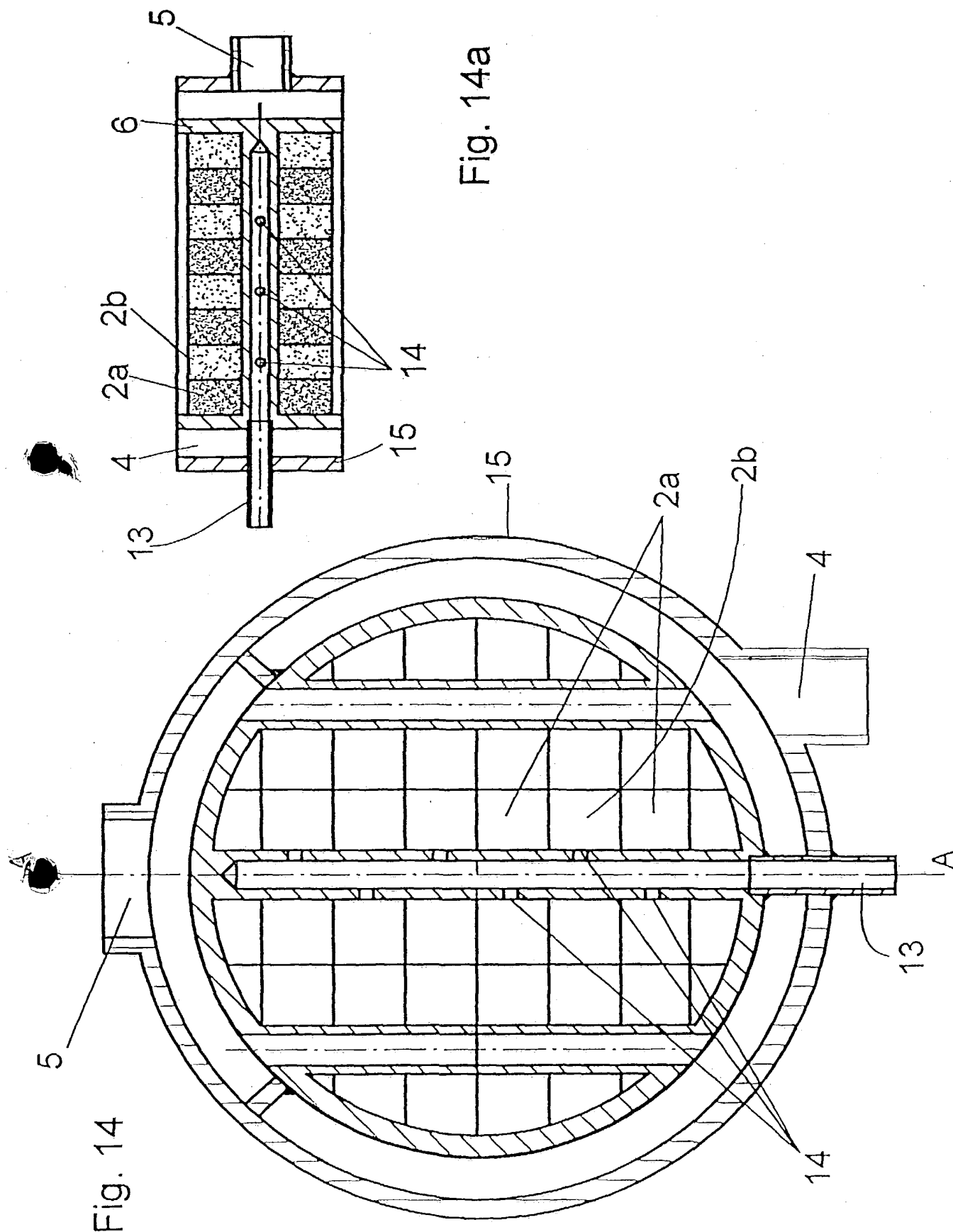


Fig. 13



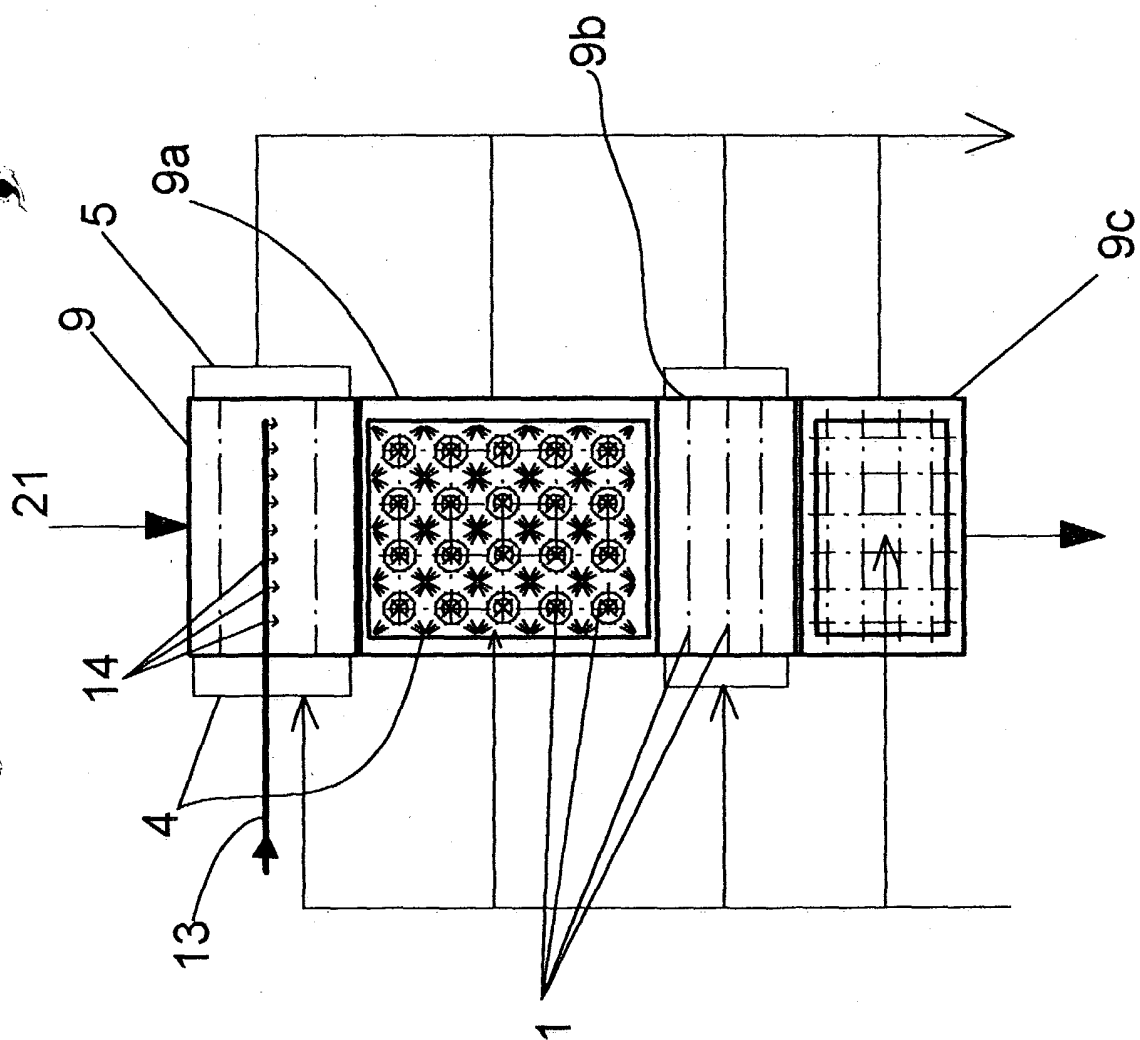


Fig. 15